

S7 1 PN="3-282527"  
?t 7/5/1

7/5/1

DIALOG(R) File 347:JAPIO

(c) 2001 JPO & JAPIO. All rts. reserv.

03619627 \*\*Image available\*\*

REFLECTION, REFRACTION, REDUCTION AND PROJECTION OPTICAL SYSTEM

PUB. NO.: 03-282527 [JP 3282527 A]  
PUBLISHED: December 12, 1991 (19911212)  
INVENTOR(s): ICHIHARA YUTAKA  
MIZUTANI HIDEO  
HASHIMOTO SUMIO  
SUENAGA YUTAKA  
APPLICANT(s): NIKON CORP [000411] (A Japanese Company or Corporation), JP  
(Japan)  
APPL. NO.: 02-083468 [JP 9083468]  
FILED: March 30, 1990 (19900330)  
INTL CLASS: [5] G03B-027/34; G02B-027/28; H01L-021/027  
JAPIO CLASS: 29.1 (PRECISION INSTRUMENTS -- Photography & Cinematography);  
29.2 (PRECISION INSTRUMENTS -- Optical Equipment); 42.2  
(ELECTRONICS -- Solid State Components)  
JOURNAL: Section: P, Section No. 1326, Vol. 16, No. 109, Pg. 52, March  
17, 1992 (19920317)

#### ABSTRACT

PURPOSE: To clearly project a fine pattern with excellent resolution by providing a  $1/4$  wavelength plate between the polarizing beam splitter and the concave reflecting mirror of a reflecting system and a refracting system.

CONSTITUTION: A first surface 10 where the pattern of an integrated circuit is formed and which corresponds to a reticle is irradiated with polarized light {(p) polarized light} from an illumination optical system. Luminous flux from the pattern on the first surface 10 is converted to almost collimated luminous flux by a first lens group G(sub 1) having positive refracting power and made incident on the polarizing beam splitter (BS) 11. The (p) polarized light transmitted through the BS11 is passed through the  $1/4$  wavelength plate 12 and converted to right (left)-handed circularly polarized light. Besides, it is made to diverge by a second lens group G(sub 2) having negative refractive power and made incident on the concave reflecting mirror 13. The luminous flux reflected on the mirror 13 becomes left (right)-handed circularly polarized light and it is passes through the lens group G(sub 2) and the wavelength plate 12 again while it is focused. Then, it becomes (s) polarized light. The luminous flux becoming the (s) polarized light is reflected on the BS11 and formed on a second surface 20 corresponding to a wafer surface by a third lens group G(sub 3) having the positive refracting power as the reduced image of a reticle pattern.

## ⑫ 公開特許公報(A) 平3-282527

⑬ Int. Cl.<sup>5</sup>G 03 B 27/34  
G 02 B 27/28  
H 01 L 21/027

識別記号

Z

庁内整理番号

8708-2K  
8106-2K

⑭ 公開 平成3年(1991)12月12日

2104-4M H 01 L 21/30 3 1 1 L

審査請求 未請求 請求項の数 9 (全12頁)

⑯ 発明の名称 反射屈折縮小投影光学系

⑰ 特 願 平2-83468

⑱ 出 願 平2(1990)3月30日

⑲ 発 明 者 市 原 裕 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑲ 発 明 者 水 谷 英 夫 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑲ 発 明 者 橋 本 純 夫 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑲ 発 明 者 末 永 豊 東京都品川区西大井1丁目6番3号 株式会社ニコン大井製作所内

⑳ 出 願 人 株 式 会 社 ニ コ ン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

㉑ 代 理 人 弁 理 士 渡 辺 隆 男

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

反射屈折縮小投影光学系

## 2. 特許請求の範囲

(1) 第1面のパターンを第2面上に縮小投影するための光学系であって、該第1面からの光束を平行に近い光束に変換するための正屈折力の第1レンズ群と、該第1レンズ群からの光束を偏光状態により反射と透過に分割する偏光ビームスプリッターと、該偏光ビームスプリッターにより分割された一方の光路中に配置されて該偏光ビームスプリッターから射出する光束を発散させるための負屈折力の第2レンズ群と、該負屈折力第2レンズ群からの発散光束を集束すると共に前記負屈折力第2レンズ群を通して前記偏光ビームスプリッターへ戻すための凹面反射鏡と、該凹面反射鏡で反射されて再び偏光ビームスプリッターを経由した光束を収束して前記第2面上に前記第1面のパターンの縮小像を形成するための正屈折力の第3レンズ群と、前記偏光ビームスプリッターと前記凹

面反射鏡との間に配置された4分の1波長板とを有することを特徴とする反射屈折縮小投影光学系。

(2) 前記偏光ビームスプリッターは、前記第1面から前記凹面反射鏡に達する光束を透過し、該凹面反射鏡にて反射されて前記第2面に達する光束を反射する構成であることを特徴とする請求項(1)記載の反射屈折縮小投影光学系。

(3) 前記偏光ビームスプリッターはプリズムの接合面に形成された偏光分離面を有するビームスプリッターキューブであり、該ビームスプリッターキューブから前記正屈折力の第3レンズ群へ入射する軸上物点からの周縁光線の光軸とのなす角度はプリズム内にて7度を越えないことを特徴とする請求項(2)記載の反射屈折縮小投影光学系。

(4) 前記偏光ビームスプリッターはプリズムの接合面に形成された偏光分離面を有するビームスプリッターキューブであり、該ビームスプリッターキューブから前記正屈折力の第3レンズ群へ入射する軸外物点からの主光線が光軸となす角度は5度を越えないことを特徴とする請求項(2)記載の反

射屈縮小投影光学系。

(5)前記凹面反射鏡の屈折力を $P_r$ 、前記第2レンズ群 $G_2$ の負屈折力を $P_n$ とすると、

$$1.5|P_n| < P_r < 4.0|P_n|$$

の条件を満足することを特徴とする請求項(2)記載の反射屈縮小投影光学系。

(6)前記凹面反射鏡の曲率半径は、前記第2面上に形成される第1面上パターンの像の有効領域直径の1.5倍から2.5倍であることを特徴とする請求項(2)記載の反射屈縮小投影光学系。

(7)前記第1面から前記凹面反射鏡に向かう光路の光軸と前記偏光ビームスプリッターの偏光分離面の法線との成す角度が45度以上であるように構成されたことを特徴とする請求項(2)記載の反射屈縮小投影光学系。

(8)前記4分の1波長板は水晶から構成され、その厚さは200 $\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項(1)記載の反射屈縮小投影光学系。

(9)前記4分の1波長板は、前記偏光ビームスプリッターと負屈折力の第2レンズ群との間に配置

されていることを特徴とする請求項(1)記載の反射屈縮小投影光学系。

### 3. 発明の詳細な説明

#### (産業上の利用分野)

本発明は半導体素子の製造に使用される露光装置、特に実素子パターンよりも拡大されたパターンを縮小投影するための光学系に関する。

#### (従来の技術)

半導体集積回路はますます微細化しそのパターンを焼き付ける露光装置はより解像力の高いものが要求されている。この要求を満たすためには光源の波長を短波長化しかつ光学系の開口数(N.A.)を大きくしなければならない。しかしながら波長が短くなると光の吸収のために実用に耐える硝材が限られて来る。波長が300nm以下になると実用上使えるのは合成石英と螢石(弗化カルシウム)だけとなる。また螢石は温度特性が悪く多量に使うことはできない。そのため屈折系だけで投影レンズを作ることはきわめて困難である。ま

た反射系だけで開口数の大きい投影光学系を作ること、収差補正の困難性のために不可能に近い。

#### (発明が解決しようとする課題)

このため、反射系と屈折系とを組み合わせる投影光学系を構成する技術が種々提案されている。その一例が、特開昭63-163319号公報に開示される如きリング視野光学系である。この光学系では入射光と反射光が互いに干渉しないように軸外の光束を用い、かつ軸外の輪帯部のみを露光するように構成されている。そのため開口数を大きくすることが困難であり、しかも一括で露光することもできないのでレチクルとウエハを光学系の縮小比に対応して互いに異なる速度で移動しながら露光する必要がある、このため機械系の構成が複雑になるという欠点を有し、超微細パターンの露光転写のための精度の維持には多大の困難を伴うものであった。

また、投影光学系中にビームスプリッターを用いることによって、軸上の光束により一括でレチ

クル(マスク)の像を投影する反射屈折系からなる投影露光装置が、例えば特公昭51-27116号公報により知られている。この構成ではビームスプリッター以降の光学系の屈折面での反射によるフレアが多く、かつビームスプリッターの反射率むら、吸収、位相変化等の特性が何ら考慮されていないため、解像力が低く半導体製造用露光装置としては到底使用に耐えるものではなかった。また、ビームスプリッターによる光量損失のため光の利用効率は25~10%程度の低いものであった。

更に、上記と同様に投影光学系中にビームスプリッターを用いたものとして、特開平2-66510号公報に開示された如き構成が知られている。しかしながら、この光学系においても前述の光学系と同様にフレアの発生が著しく、また光量損失が多く、ビームスプリッターでの反射率の不均一性や吸収特性、そして多層膜であることによって生ずる入射角度に対する位相変化の不均一性により解像力が劣化するという欠点もあり、実用のた

めには大きな課題を有するものであった。

本発明の目的は、投影光学系中にビームスプリッターを用いた構成であって、軸上の光束により大きな開口数を有しつつ、フレアの発生が少なくビームスプリッターにおける反射率の不均一性や位相変化の不均一性による解像力の劣化を防止し、反射屈折系からなる優れた結像特性を有する縮小投影光学系を提供することにある。

#### 〔課題を解決するための手段〕

本発明においては、レチクル面等の第1面に形成された所定のパターンを、ウエハ面等の第2面上に縮小投影するための光学系として、屈折系のみで構成することは困難であるため、反射系と屈折系を組み合わせた構成とし、基本的には前述した特公昭51-27116号公報に開示された構成に基づいている。

そして、一括して広い領域の露光を可能とするために軸上の光束を用い、入射光と反射光の分離は偏光ビームスプリッターと4分の1波長板とで

光ビームスプリッター11へ戻すための凹面反射鏡13と、該凹面反射鏡13で反射されて再び偏光ビームスプリッター11を経由した光束を収斂してウエハ面に相当する第2面20上に前記第1面10のパターンの縮小像を形成するための正屈折力の第3レンズ群G<sub>3</sub>と、前記偏光ビームスプリッター11と前記凹面反射鏡13との間に配置された4分の1波長板12とを有するものである。

そして、偏光ビームスプリッター11は、第1面10から凹面反射鏡13に達する光束を透過し、凹面反射鏡13にて反射されて第2面20に達する光束を反射する構成であることが好ましく、このとき第1レンズ群G<sub>1</sub>の収斂作用を受けて偏光ビームスプリッター11に入射する光束がほぼ平行であることのみならず、凹面反射鏡13で反射された後に偏光ビームスプリッター11で反射されて正屈折力の第3レンズ群G<sub>3</sub>へ入射する光束もほぼ平行光束であることが好ましい。

しかも、偏光ビームスプリッターとしては、その偏光分離面を2つの直角プリズムが貼合わされ

行なう構成とし、偏光ビームスプリッターに入射する光束を正屈折力の第1レンズ群によってほぼ平行光束に変換し、偏光ビームスプリッターと凹面反射鏡の間に第2レンズ群として負屈折力のレンズまたは群を配置して光束を発散させると共に、凹面鏡による反射光が再度平行光束に近い状態で偏光ビームスプリッターに戻るよう構成し、正屈折力の第3レンズ群によって縮小像を形成する構成としている。

具体的には、第1図の原理的構成図に示す如く、レチクル面に相当する第1面10からの光束を平行に近い光束に変換するための正屈折力の第1レンズ群G<sub>1</sub>と、該第1レンズ群G<sub>1</sub>からの光束を偏光状態により反射と透過に分割する偏光ビームスプリッター11と、該偏光ビームスプリッター11により分割された光路中に配置されて該偏光ビームスプリッター11から射出する光束を発散させるための負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>と、該負屈折力第2レンズ群G<sub>2</sub>からの発散光束を集束すると共に前記負屈折力第2レンズ群G<sub>2</sub>を通して前記偏

た斜面に形成する構成と、薄い斜設平行平板上に形成する構成とが考えられるが、本発明においては偏光特性の観点からして、2つのプリズムが貼合された斜面に誘電体多層膜からなる偏光分離面を形成し、プリズムの接合面に偏光分離面を有するビームスプリッターキューブとして構成することが好ましい。

#### 〔作用〕

上記の如き本発明の構成の説明に先立って、前記特開平2-66510号公報に開示された構成を例にとって、有害なフレアと光量損失について解析した結果について説明する。

第7図は特開平2-66510号公報に開示された光学系を模式的に示したものである。縮小転写しようとするパターンを描かれたレチクル1からの光束は、正屈折力のレンズ2を通りビームスプリッター3を通過して補正レンズ4を通り凹面鏡5で反射される。凹面鏡5で反射された光束は、再度補正レンズ4を通りビームスプリッター3で

反射された後、正屈折力のレンズ6によって集光され、ウエハ7上にレチクルパターンの縮小像を結像する。

ここでレチクル1からの光束がビームスプリッター3を通るとき、入射光は半透膜によって反射光と透過光とに分離されるが、半分近くの光が反射されると共に半透膜での吸収によりかなりの光量損失を生じ、半分近い反射光が周辺の鏡筒構造物によって反射及び散乱されるためにフレアも生ずる。また、凹面鏡5からの反射光がビームスプリッター3に戻って反射されるときには、半分近くの光が透過し、この透過光は光量損失を生ずるのみならず、レチクル1で反射されて再び結像光と同じ光路を辿ってウエハ7に到達して非常に強いゴースト像を形成し又フレア光ともなる。更に、正屈折力のレンズ6の表面やウエハ7で反射した光は、ビームスプリッター3と凹面鏡5で反射されて再びウエハ7に到達するため、これらの反射光もフレアの原因となる。例えば、ビームスプリッター3の反射率を50%、ウエハ7の反射率を

30%とすると、フレア光はレチクル1の照射光量(露光量)の4~10%にも達する。限界解像のために許容されるフレアの光量は2%程度であるため、上記の如き従来の構成では実用上問題がある。

ところで、一般的なビームスプリッターの半透膜としては、金属薄膜が知られているが、金属膜では光の吸収が大きくなるために、光量損失が大きくなるという問題があるのみならず、光吸収に起因する発熱により光学系の屈折率の変化や形状の変化を生ずるため、光学系の収差を発生させるという問題も生ずる。このため効率の良い半透膜としては誘電体多層膜を用いることが必要となる。ところが、誘電体多層膜からなる半透膜においては、反射率の角度特性のむらのみならず、反射の際に受ける位相の変化の角度特性にも変化が著しいという問題があることが判明した。

そこで、ビームスプリッター3の半透膜3aによる反射率むらと位相変化について述べる。上記のように誘電体多層膜は吸収が少ないという利点を

有するものの、角度が変わると透過率と反射率が変わり、更に位相も変化するという角度依存特性を有している。即ち、ビームスプリッター3に入射する光が平行光でなく集束または発散する光束の場合には、透過率と反射率が波面の場所によって変化する。波面の周辺部の光量低下を招き、実効的に開口数(NA)が小さくなって解像力の低下をきたす。更に、位相が波面の場所によって変化することにより波面収差が発生し、解像力の低下のみならずディストーション(歪曲収差)を生ずるため、微細パターンを形成する半導体製造装置としての実用化は難しいものである。

第2図にその反射率透過率特性及び位相変化特性の例を示す。第2図(A)の反射率透過率特性において、横軸は入射角、縦軸は反射率及び透過率である。実線TAは透過率、破線RAは反射率を示す。第2図(B)の位相変化特性において、横軸は入射角、縦軸は位相変化量を表し、実線TAは半透膜を透過する光を示し、破線RAは半透膜で反射する光を示している。

ここで、位相変化の不均一性が解像力にいかに関与するかを模式的に示す。第4図(A)は半透膜3aにおける反射光束が正レンズ3bによって所定面上に集光される状態の模式図であり、第4図(B)は半透膜での反射光が受ける位相変化特性の説明図であり、第4図(C)は第4図(B)に示される如き位相変化特性がある場合第4図(A)の如き光学系の瞳における波面収差を例示する図である。

すなわち、軸上光線が半透膜11aに入射角 $\theta$ で入射して反射角 $\theta$ で反射された後に、正レンズ6で集光されて物体像を形成するものとし、軸外像点に達する光束の主光線の光軸との成す角度を $\theta_1$ 、軸外の主光線と軸外周縁光線との成す角度を $\theta$ とすれば、この軸外像点の形成に寄与する光束の位相変化特性は第4図(B)に示した $\theta \pm \theta_1$ の範囲となる。従って、この範囲の光束の受ける位相変化の幅は $\Delta\phi$ である。この位相変化の幅によって、瞳面上では第4図(C)に示す如く同様に $\Delta\phi$ の幅で位相変化特性の形状を反映

した形の波面収差を持つことになる。第4図(C)中に接線 $l$ として示す如く、瞳面上の中央部での波面の傾きは、理想像点に対して実際の結像点が像面上で変位することを意味する。また、波面の湾曲は入射面(紙面)内において生じて、その面内においてデフォーカスを生ずることになる。このことは、入射面(紙面)に垂直な方向での波面の湾曲が少ないことからして、実質的な非点収差を生ずることになる。つまり、第4図(C)に示す如き波面収差を持つ場合には、像の変位や非点収差を生ずることとなり、像性能の劣化をきたすことになるのである。そして、軸外光束の光軸を挟んだ( $\theta$ ,  $\pm\theta$ , )の2光束について考えると、位相変化の湾曲のため波面の傾きが互いに異なり、像点の変位量が異なることになって像の歪曲を生ずることになる。これらの非点収差や歪曲収差は非回転対象な収差であるために、通常の光学系において補正することは困難である。

そこで、前記第2図に示したビームスプリッターとして一般的な半透膜における位相変化特性図

に戻れば、半透膜を透過する光(実線TA)は直線的ながら大きく変化し、反射する光(破線RA)の位相変化特性は大きく湾曲していることがわかる。従って、このような半透膜においてはレンズ系の結像性能を如何に高めたとしても、半透膜での位相変化によって解像力の劣化が避けられないものとなる。特に、半透膜で反射される光(破線RA)の位相変化特性が大きく湾曲しているために著しい非点収差を発生することになり、また歪曲収差も避けられない。

以上の如き従来の構成に対し、第1図に示した本発明においては、偏光ビームスプリッターを用いることにより、光量損失とフレアの発生を少なくするのみならず、ビームスプリッターによる光量変化と位相変化による波面収差などによる解像力の劣化、歪曲収差の発生を防ぐことが可能である。すなわち、以上の如き半透膜における位相変化特性に対し、偏光ビームスプリッターにおける偏光分離面は多層膜構成ではあるものの、第3図

に示す如く位相変化特性はかなり安定していることが判明した。すなわち、第3図の実施例における角度特性図に示す如く、偏光分離面を透過するp偏光の位相変化量(実線Tp)は緩い傾きの直線であり、反射するs偏光の位相変化量(破線Rs)はほとんど水平な直線となっている。このため、偏光分離面を透過するp偏光(実線Tp)においては瞳面上で波面がやや傾いて像面上での像点の変位がやや生ずるものの、偏光分離面で反射されるs偏光(破線Rs)による結像では広い角度範囲において位相の変化がほぼ一定しており波面の傾きを生ずることがなく、光学系の優れた結像性能が維持されることが分かる。尚、第3図(A)は反射率特性、第3図(B)は位相変化特性であり、各グラフの横軸、縦軸は前記第2図のものと同一である。

このような偏光分離面における位相変化特性に鑑み、本発明においては第1面から凹面反射鏡に達する光束を透過し、該凹面反射鏡にて反射され

て前記第2面に達する光束を反射する構成としたものである。すなわち、第1レンズ群G<sub>1</sub>によって第1面からの光束をほぼ完全に平行光束に変換することが収差補正上比較的容易である一方、凹面鏡での反射と負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>を経てくる光束が所定の縮小倍率を得るためにはある程度の収束光束にすることが収差補正のバランス上必要となっていることから、凹面鏡での反射と負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>を経てくる光束に対して、広い角度範囲において高い反射率を維持すると共に位相変化が少ないという偏光ビームスプリッターの特性を用いることが有利であることが明らかとなったのである。

すなわち、第3図(A)に示した偏光分離特性の如く、偏光ビームスプリッターは、入射角45度以上の範囲で透過するp偏光(実線Tp)の透過率が90%以上であり、入射角58度以下の範囲で反射されるs偏光(破線Rs)の反射率が90%以上という優れた値を有している。また、位相変化もほぼ線形である。位相変化が線形である

ことにより、像の全体の横ずれを生じはするものの歪曲収差は生ずることはなく、位相変化特性の傾きが小さいために非点収差の発生も小さく、解像力の低下も生じない。また4分の1波長板を偏光ビームスプリッターと凹面反射鏡の間に入れることにより光量損失をなくせるのみならず、余分な反射光がウェハの配置される第2面上に戻らなくできるため、フレアを大幅に減らすことができる。

ただし、本発明の構成において、偏光ビームスプリッターが良好な角度特性を持つのは上述の一定の角度範囲のみであるため、レチクルの配置される第1面と偏光ビームスプリッターとの間に配置された正屈折力の第1レンズ群によって、偏光ビームスプリッターに入射する光束をできるだけ平行光に近付けることが必要となる。また、偏光ビームスプリッターで反射されて正屈折力の第3レンズ群へ入射する光束の光軸とのなす角度についても、ほぼ光軸と平行となるように構成することが望ましい。

は、共に4度を越えないことが望ましい。この角度が大きくなりすぎると、偏光ビームスプリッターの透過率特性からして光量損失が増大することとなるため好ましくない。

また、凹面反射面の収斂作用と負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>の発散作用との関係は、偏光ビームスプリッターを透過してくるほぼ平行な光束を、凹面反射鏡での反射を経て負屈折力第2レンズ群G<sub>2</sub>を通過した後においてもほぼ平行光束に変換することが、偏光ビームスプリッターの薄膜特性の観点から上述のとおり望ましい。このため、凹面反射面の屈折力が第2レンズ群G<sub>2</sub>の負屈折力のおおよそ2倍の正屈折力を有していることが好ましく、良好な収差補正のためには凹面反射鏡の収斂屈折力をPr、第2レンズ群G<sub>2</sub>の負屈折力をPnとすると、

$$1.5 | P_n | < P_r < 4.0 | P_n |$$

の範囲に構成することが望ましい。

上記の上限を越える場合には、凹面反射面の収斂正屈折力が強くなり過ぎるため、色収差の補正

具体的な光束の状態として、凹面反射鏡での反射の後、負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>を通過して、偏光ビームスプリッターでの反射を受けて正屈折力の第3レンズ群へ入射する軸上物点からの周縁光線の光軸とのなす角度は、プリズム内において7度を越えないことが好ましい。また、偏光ビームスプリッターから正屈折力の第3レンズ群へ入射する軸外物点からの主光線が光軸となす角度は同じくプリズム内において5度を越えないことが好ましい。これらの角度を越える場合には、凹面反射鏡で反射されて負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>を通過し、1/4波長板によって偏光方向が変換されてs偏光として偏光ビームスプリッターに入射する光束が、十分反射されなくなるために結像に寄与する光量の損失が大きくなり、フレア及び結像性能も劣化するため、良好な結像を行うことが難しくなる。

そして、正屈折力の第1レンズ群から偏光ビームスプリッターへ入射する軸上物点からの周縁光線の入射角、及び軸外物点からの主光線の入射角

には有利になるものの、偏光ビームスプリッターの薄膜特性からして光量損失が過大になってしまい照明効率の低下をきたす。また、下限を外れる場合には、凹面反射面の屈折力が相対的に弱くなるため凹面反射鏡によって所定の縮小倍率を得ることが難しくなって、相対的に第1レンズ群G<sub>1</sub>、や第3レンズ群G<sub>3</sub>での屈折力の増大を要するためこれらのレンズ群での縮小倍率を負担することによる諸収差の発生が著しくなるため好ましくない。

そして、本発明の上記構成において、凹面反射鏡の曲率半径は、ウェハ一面等の第2面上に形成される像の有効傾域(イメージサークル)直径の1.5倍から2.5倍であることが好ましい。凹面反射鏡においては、その収斂作用によってある程度の縮小倍率を達成すると共に、ベッツパール和や非点収差、歪曲収差を良好に補正するために、第1レンズ群G<sub>1</sub>、第2レンズ群G<sub>2</sub>、及び第3レンズ群G<sub>3</sub>からなる屈折系との収差バランスを良好に維持することが可能となる。すなわち、凹面反

射鏡の曲率半径が、縮小像の有効領域直径の1.5倍を下回る場合には、色収差の補正には有利となるが、ベッツパール和が正に増大して非点収差も歪曲収差も増加する。凹面反射鏡の屈折力が大きくなると凹面反射鏡での反射の前後で偏光ビームスプリッターを経由する光束をほぼ平行光束とするために必要な負の第2レンズ群G<sub>2</sub>の屈折力が大きくなるため、球面収差の補正のために正屈折力の第3レンズ群G<sub>3</sub>の屈折力が大きくなることが必要となる。第3レンズ群G<sub>3</sub>は像面としてのウエハ面に近い位置に配置されるため、収差補正のためには第2レンズ群G<sub>2</sub>の負屈折力以上に大きな屈折力が必要となるため、ベッツパール和が著しく増大することになってしまう。尚、雑収差のより良好な補正のためには、凹面鏡の曲率半径は縮小像の有効領域直径の1.9倍以上であることが好ましい。逆に、凹面鏡の曲率半径が縮小像の有効領域直径の2.5倍を超えて大きくなる場合には、非点収差や歪曲収差の補正には有利となるが、所定の縮小倍率を得ることが難しくなり、色収差

ことが望ましい。この角度以上となることは、偏光ビームスプリッターを構成するプリズムが大きくなって、凹面反射鏡とレチクルの配置される第1面との距離が長くなって光学系全体が大型化すると共に、凹面反射鏡の曲率半径が大きくなって屈折力が弱くなり色収差の増大をまねくことになる。

以上の如く、第1図に示した本発明の原理的構成においては、ビームスプリッター11の反射面11aで反射される光路の光軸が、透過光路の光軸と直交しない。このため、ビームスプリッター11で反射される光束の射出面が光軸に垂直になるようにして、プリズムとしてのビームスプリッターキューブにおける実質的光路の対称性を維持して非対象収差の発生を防止するために、ビームスプリッターの反射光路側射出面には補助プリズム14が貼合されている。

ところで、4分の1波長板としては厚さの薄い1軸性結晶（水晶）を用いなければならない。その理由は光束が平行光からずれると異常光線に対

の補正が不十分となるため実用的ではない。

また、本発明においては、レチクル面に相当する第1面と凹面反射鏡とを結ぶ光軸に対して、偏光ビームスプリッターの反射面（偏光分離面）の法線が成す角度 $\theta$ を、45度以上とすることが好ましい。すなわち、凹面鏡で反射されて後にビームスプリッターで反射される光束のビームスプリッター面への入射角及び反射角を、45度より大きくなる配置とすることが好ましい。この条件は、偏光ビームスプリッターの角度特性を安定した良好な状態で使用するために必要となる。この角度 $\theta$ が45度より小さくなる場合には、良好な角度特性が得られる角度範囲が狭くなり、偏光ビームスプリッターを経由する光束がより平行であることが必要となるため、光学系の収差補正上の制約が大きくなり、良好な結像性能を維持することが難しくなる。

また、偏光ビームスプリッターの反射面の法線がレチクル面に相当する第1面と凹面反射鏡とを結ぶ光軸に対して、少なくとも55度以下である

して非点収差が生じるためである。この非点収差は、通常波長板で行なわれている2枚の結晶を90度互いに光学軸を回転させて張り合わせる方法では補正できない。（常光線、異常光線とも非点収差が生じてしまう。）この非点収差量は、波面収差をWとして、

$$W = (n_o - n_e) d \theta^2$$

と表わされる。ここで $(n_o - n_e)$ は常光線の屈折率 $n_o$ と異常光線の屈折率 $n_e$ との差、 $d$ は結晶が貼合せてなる4分の1波長板の厚さ、 $\theta$ は結晶内での平行光からのずれ角、即ち光束の発散（集束）角を表わしている。

実用的な構成としては、4分の1波長板を水晶にて構成する場合 $(n_o - n_e) = 0.01$ であり、光束の発散（集束）状態を角度 $\theta = 7$ 度程度とすると、十分良好な結像性能を維持するために波面収差量Wを、4分の1波長内すなわち $w < \lambda/4$ に維持するためには、

$$d < 200 \mu\text{m}$$

であることが好ましい。



尚、4分の1波長板は、前記偏光ビームスプリッターと負屈折力の第2レンズ群との間に配置することが好ましく、このような配置にすることによってほぼ平行な光束中に4分の1波長板が配置されることとなるため、4分の1波長板の特性が良好になる。

#### 〔実施例〕

以下、図示した実施例について説明する。

第5図は本発明の実施例の光学構成を示す光路図である。不図示の照明光学系からくる紙面内に偏光した光(p偏光)が集積回路のパターンが形成されたレチクルに相当する第1面10を照明する。この第1面10上のパターンからの光束は、正屈折力を持つ第1レンズ群G<sub>1</sub>によってほぼ平行光束に変換されて偏光ビームスプリッター11に入射する。第1レンズ群G<sub>1</sub>は第1面側から順に、両凸形状の正レンズL<sub>11</sub>、両凹形状の負レンズL<sub>12</sub>からなる前方群と、負レンズL<sub>13</sub>、第1面側に凹面を向けたメニスカスレンズL<sub>14</sub>及び正レンズL<sub>15</sub>、

両凹負レンズL<sub>16</sub>、両凸正レンズL<sub>17</sub>からなる後方群で構成されている。偏光ビームスプリッターの偏光分離多層膜面11aの法線は、第1面10から凹面反射鏡13に至る光路の光軸に対して50度の傾斜に形成されている。

負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>は凹面反射鏡13側に凸面を向けた負メニスカスレンズL<sub>21</sub>のみから構成されている。また、偏光ビームスプリッター11からの反射光束を第2面20上に集光する正屈折力第3レンズ群G<sub>3</sub>は、偏光ビームスプリッター11側から順に、正レンズL<sub>31</sub>、両凹負レンズL<sub>32</sub>、両凸正レンズL<sub>33</sub>、ビームスプリッター側に強い凸面を向けた正レンズL<sub>34</sub>、第2面20側に強い凹面を向けた負レンズL<sub>35</sub>及びビームスプリッター11側に強い凸面を向けた正レンズL<sub>36</sub>から構成されている。

偏光ビームスプリッター11を透過する偏光光(p偏光)は、4分の1波長板12を通り右(左)回り円偏光に変換された後負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>により発散されて凹面反射鏡13に入射する。

ここでは、凹面反射鏡の収斂屈折力Prの値は、負の第2レンズ群G<sub>2</sub>の屈折力Pnに対して、

$$Pr = 2.8 | Pn |$$

の関係にある。この凹面鏡13の曲率半径は第2レンズ群G<sub>2</sub>のおおよそ2倍の正の屈折力を有していることが好ましいが、良好な収差補正のためには、上述した範囲に設定することが望ましい。この凹面反射鏡13で反射された光束は逆回りの円偏光となり集束しながら再度負屈折力の第2レンズ群G<sub>2</sub>と4分の1波長板12を通過しs偏光となって再度偏光ビームスプリッター11に入射する。このときの軸上物点からの光線の光軸に対する角度は約4度であり、主光線のそれも約3度である。s偏光となった光束は偏光ビームスプリッター11で反射されて、正屈折力の第3レンズ群G<sub>3</sub>によってウエハ面に相当する第2面20上にレチクルパターンの縮小像を形成する。この実施例は、使用基準波長248nmにおいて、結像倍率は1/5の縮小倍率であり、開口数0.45を有している。また、縮小投影像の有効領域(イメージサークル)の直

径は20mmであり、凹面反射面の曲率半径はその役21倍である。

そして、偏光ビームスプリッター11を透過する軸上物点からの周縁光線(所謂ランド光線)の光軸に対する角度はおおよそ0度であり、主光線の光軸に対する角度の最大値は約3度であること、また、偏光ビームスプリッター11の反射面11aの法線と光軸のなす角は50度に配置されているため、第3図の角度特性に示す如く、p偏光の透過率は50±3度の範囲において95%以上で、位相の変化は入射角に対し線形となっている。また、偏光ビームスプリッター11で反射されるs偏光の角度は軸上物点からの周縁光線の光軸に対する角度はおおよそ4度であり、主光線の光軸に対する角度の最大値は約3度であるため、第3図の角度特性に示す如く、s偏光の反射率は50±7度の範囲において95%以上で、位相の変化は入射角に対しほとんど一定となっている。

下記の表に本発明による光学系の一実施例の諸元を示す。この表では、物体面としてのレチクル

面に相当する第1面から像面としてのウエハ面に相当する第2面に向かう順序で各面の曲率半径、面間隔および硝材を示している。表中、各面の曲率半径および屈折率は第5図中右から左へ向かう光線の進行方向を正と定義し、これを基準としてそれらの正負を定め、面間隔は光線の進行方向が正である媒質中は正とし、光線の進行方向が負である媒質中は負とするものとしている。

表

No	曲率半径	間 隔	硝 材	
1	$\infty$			10
2	453.955	55.000	石英ガラス	G <sub>1</sub>
3	-169.744	20.000	石英ガラス	
4	-462.348	3.000	石英ガラス	
5	-462.348	29.000	石英ガラス	
6	197.498	331.069	石英ガラス	
7	3251.302	20.000	石英ガラス	
8	351.924	24.484	石英ガラス	
9	-148.313	20.000	石英ガラス	
10	-145.808	75.383	石英ガラス	
11	1165.673	30.000	石英ガラス	
12	-255.389	4.000	石英ガラス	
13	-336.804	27.000	螢 石	
14	305.312	3.000	螢 石	
15	350.192	31.000	石英ガラス	
16	-431.917	11.987	石英ガラス	
17	$\infty$	216.000	石英ガラス	11 (12)

スプリッター11に接合されているものとし、その厚さは薄いため無視した。4分の1波長板12そのものは極めて薄いため、石英ガラスに接着して支持することが必要である。

また、上記実施例の構成に用いられた偏光ビームスプリッターの薄膜構成は、21層からなり、高屈折率物質として酸化ハフニウム $\text{HfO}_2$ を用い、低屈折率物質として酸化シリコン $\text{SiO}_2$ を用いて入射角を50度としたものであり、この構成からなる偏光ビームスプリッターの特性が前述した第3図に示したものである。第3図に示した角度特性図に示すとおり、50度±7度の範囲でs偏光の反射率は95%以上であり、50度±3度の範囲でp偏光の透過率は95%以上である。またこの範囲では位相変化は緩やかな線形または一定であり、歪曲収差や像の劣化は起こらないことは前述したとおりである。尚、高屈折率物質としては上記の他、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sc}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO}$ 等が有用であり、低屈折率物質として $\text{YF}_3$ 、 $\text{MgF}_2$ 、 $\text{LaF}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{LiF}$ 、

18	-204.923	15.000	石英ガラス	G <sub>1</sub>
19	-634.284	25.000	石英ガラス	13
20	-419.364	4.200	石英ガラス	
21	-634.284	-4.200	石英ガラス	G <sub>1</sub>
22	-204.923	-25.000	石英ガラス	(12) 11
23	$\infty$	-15.000	石英ガラス	
24	$\infty$	-116.000	石英ガラス	G <sub>1</sub>
25	$\infty$	98.000	石英ガラス	
26	$\infty$	3.989	螢 石	
27	152.202	28.000	螢 石	
28	-329.930	5.000	石英ガラス	
29	-207.876	17.000	石英ガラス	
30	356.057	0.300	螢 石	
31	200.603	15.500	螢 石	
32	-340.783	0.400	螢 石	
33	57.413	25.500	螢 石	
34	1411.592	3.000	石英ガラス	
35	2276.589	12.900	石英ガラス	
36	34.616	5.412	螢 石	
37	42.071	27.700	螢 石	
38	1437.730	12.000	螢 石	
39	$\infty$			20

尚、石英ガラス及び螢石の使用基準波長(248nm)

n)に対する屈折率は以下のとおりである。

石英ガラス : 1.50855

螢 石 : 1.46799

ところで、上記の表中においては、石英ガラス上に設けられた4分の1波長板12が、偏光ビーム

等が有効である。

尚、第2図に示した従来の半透膜の特性は、高屈折率物質として酸化アルミニウム $\text{Al}_2\text{O}_3$ を用い、低屈折率物質として酸化シリコン $\text{SiO}_2$ を用いた31層の構成からなるものであり、入射角を45度としたものである。

第6図に上記実施例の結像性能を示すために、球面収差、非点収差、歪曲収差及び倍率の色収差を示す。基準波長は $\lambda_1$ (248nm)とし、 $\pm 0.5\text{nm}$ の範囲で $\lambda_2$ (247.5nm)及び $\lambda_3$ (248.5nm)についての収差量を示した。各収差図から分かるように、本実施例によれば極めて良好な結像性能を有していることが明らかであり、上述した偏光ビームスプリッターの良好な偏光分離特性及び位相の角度特性とあいまって、優れた縮小投影像を鮮明に効率良く形成することが可能となる。

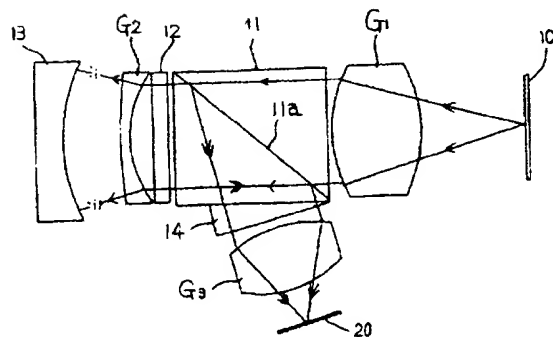
ところで、上記実施例においては負屈折力の第2レンズ群 $G_2$ を単一の負メニスカスレンズで構成したが、この構成に限られるものではなく、複数のレンズで構成することが可能である。そして、

凹面反射面を負レンズの裏面反射面とすることによって、第 2 レンズ群 G<sub>2</sub> と凹面反射面とを一体的に構成することも可能である。

#### 〔発明の効果〕

以上の如く、本発明により屈折系のみで投影レンズを作ることができない波長域でも反射系と屈折系に、偏光ビームスプリッターと 4 分の 1 波長板を組み合わせることによって、非点収差、歪曲収差、色収差を含む諸収差を良好に補正した縮小投影光学系を実現することができ、所定領域のレチクルパターンを一括露光により縮小投影することが可能となる。また、この光学系は光量損失が少なくかつフレアも少ないものであるため、極く微細なパターンを優れた解像力にて鮮明に投影することができ、一段と微細パターンの投影が必要となっている半導体素子の製造において極めて有用な露光装置を提供することが可能となる。

#### 4. 図面の簡単な説明



第 1 図

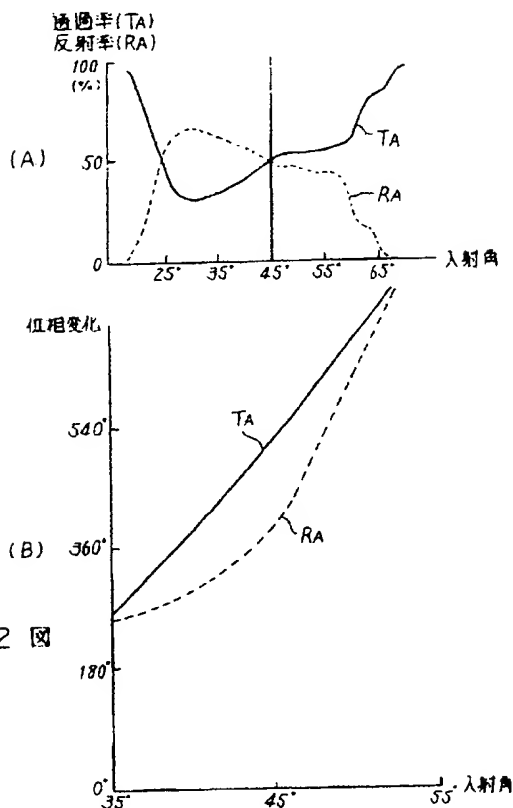
第 1 図は本発明による光学系の原理的構成図、第 2 図は従来の半透膜の反射率透過率特性及び位相変化特性を示す図、第 3 図は本発明における偏光ビームスプリッターについての反射率透過率特性及び位相変化特性を示す図、第 4 図は位相変化特性と結像性能との関係を説明する図、第 5 図は本発明による実施例の光学構成を示す光路図、第 6 図は本発明による実施例の諸収差図、第 7 図は従来の光学系を示す概略構成図である。

#### 〔主要部分の符号の説明〕

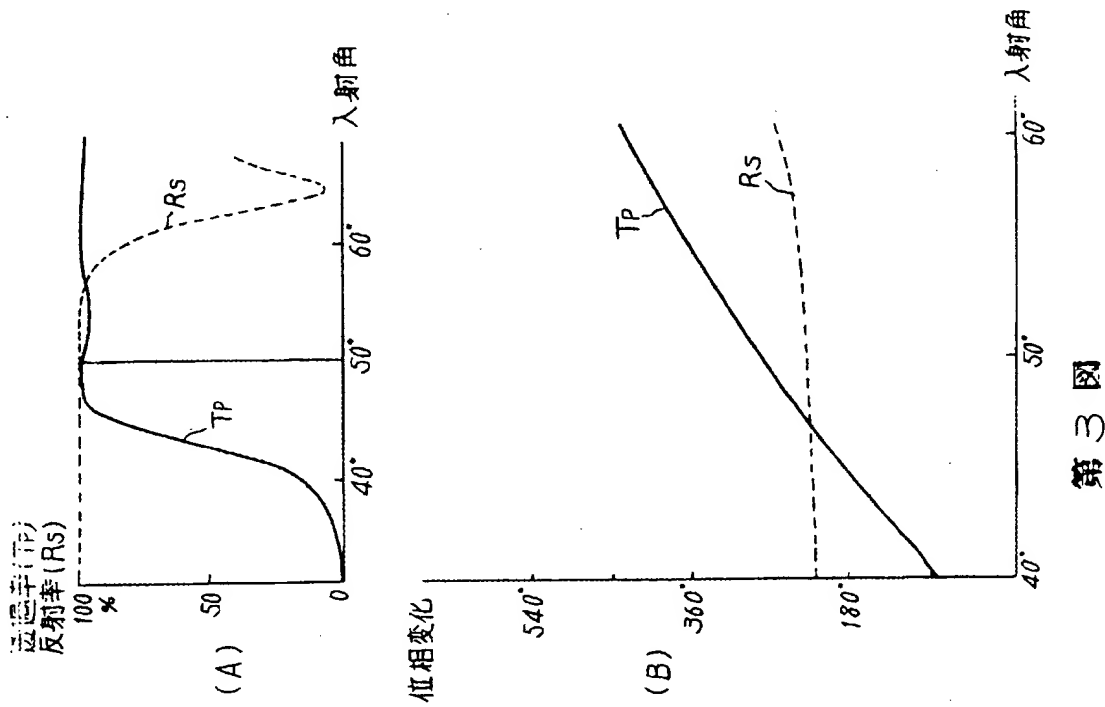
- 10…第 1 面 (レチクルのパターン面)
- 20…第 2 面 (ウエハ面)
- 11…偏光ビームスプリッター
- 12…4 分の 1 波長板
- 13…凹面反射鏡
- 14…補助プリズム
- G<sub>1</sub>…正屈折力の第 1 レンズ群
- G<sub>2</sub>…負屈折力の第 2 レンズ群
- G<sub>3</sub>…正屈折力の第 3 レンズ群

出願人 株式会社 ニコン

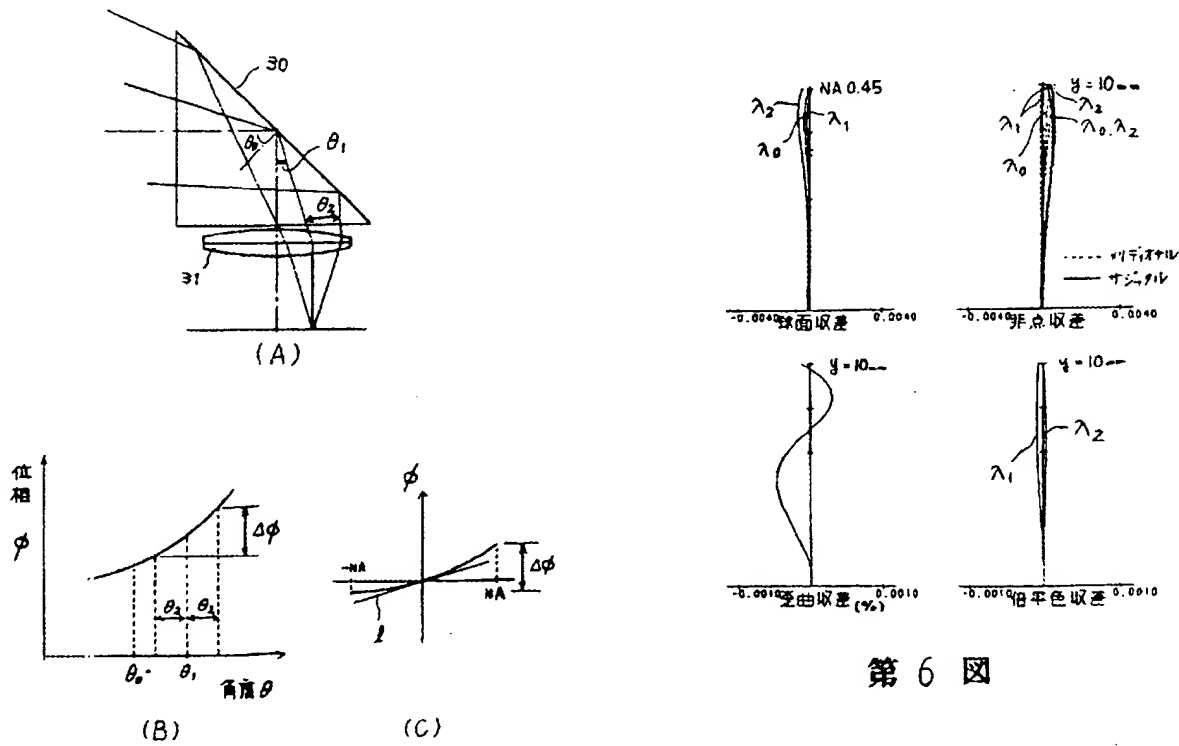
代理人 弁理士 渡辺隆男



第 2 図

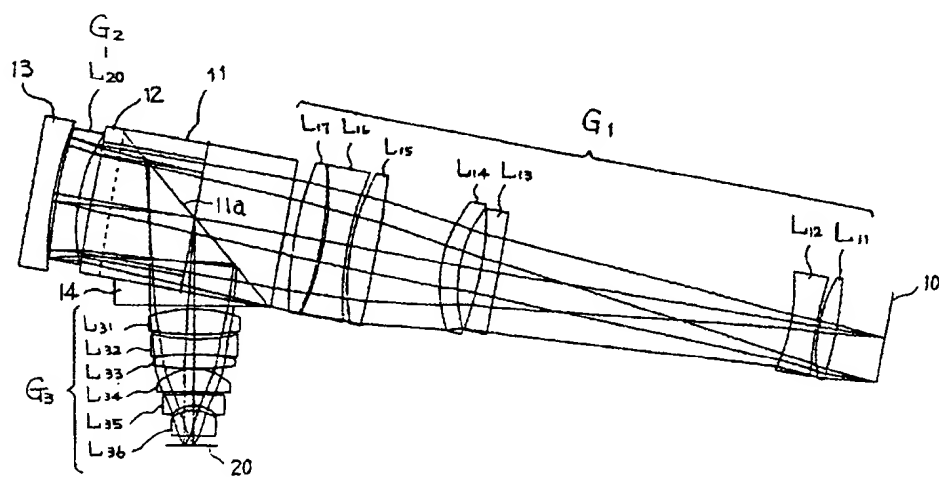


第 3 图

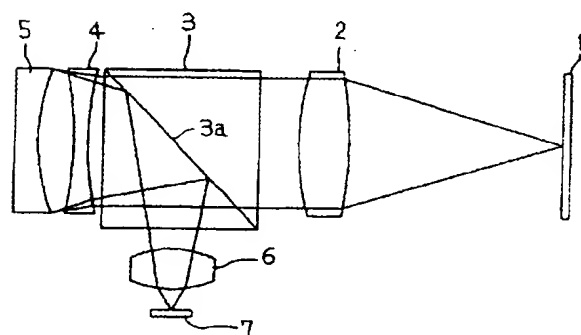


第 6 图

第 4 图



第 5 图



第 7 图